

А.М. Бровченко, инж., И.Ф. Пономаренко, доц. канд. хим. наук,  
Э.А. Гришина, преп.

Кировоградский национальный технический университет

## Аналитический расчет производительности обработки при алмазно-электрохимическом шлифовании твердых сплавов торцом круга

В статье приведена методика аналитического расчета производительности при осуществлении алмазно – электрохимического шлифования исходя их состояния режущей поверхности круга, фактического съема составляющих процесса, условий контактного взаимодействия, и режимов шлифования.

**алмазно–электрохимическое шлифование, аналитический расчет, производительность обработки**

Известно [1], что съем обрабатываемого материала при алмазно-электрохимической обработке металлокерамических твердых сплавов происходит за счет резания алмазными зернами, анодного растворения и электроэрозионного разрушения поверхностного слоя. Кроме этого, съем твердого сплава осуществляется в специфических условиях воздействия сопряженных эффектов (хемо-механического и механо-химического).

Общий объем можно определить по формуле:

$$Q = Q_{\text{мех}} + Q_{\text{эх}} + Q_{\text{эр}} + Q_{\text{хем.мех.мех.хим.}},$$

где  $Q$  – суммарный съем;

$Q_{\text{мех}}$  – часть припуска, снимаемая за счет микрорезания;

$Q_{\text{эх}}$  – часть припуска, которая удаляется вследствие анодного растворения;

$Q_{\text{эр}}$  – часть припуска, которая удаляется за счет эрозионных процессов;

$Q_{\text{хем.мех.мех.хим.}}$  – часть припуска, которая удаляется за счет воздействия

сопряженных эффектов.

Съем твердого сплава, снимаемый путем микрорезания можно при  $U = 0$  определить по формуле:

$$Q_{\text{мех}} = \frac{\ell \cdot F}{\tau} \text{ мм}^3 / \text{мин},$$

где  $\ell$  – длина сошлифованного образца мм;

$F$  – площадь обработки в мм<sup>2</sup>;

$\tau$  – время обработки в мин.

Съем твердого сплава, удаленного вследствие его анодного растворения можно найти из законов Ома и Фарадея.

$$Q = \xi \eta \cdot \frac{u \cdot s}{p \cdot h},$$

где  $u$  – напряжение в вольтах;

$s$  – площадь контакта в мм<sup>2</sup>;

$p$  – удельное сопротивление Q м/мм;

$h$  – величина межэлектродного зазора;

$\xi$  – электрохимический эквивалент сплава.

$$\xi = \frac{100}{\sum \frac{Ci}{\xi_i}},$$

где  $Ci$  – процентное содержание отдельных компонентов в связке;

$\xi_i$  – электрохимический эквивалент компонента;

$\eta$  – выход по току.

Находим по формуле [2]:

$$\eta = \frac{60^{i=m}}{F} \sum \frac{Ai}{ni} ki,$$

где  $F$  – число Фарадея;

$A$  – атомный вес вещества;

$n_i$  – число электронов отдаваемых металлом;

$k_i$  – весовая доля данного компонента.

Влияние хемо-механического эффекта можно учесть через коэффициент  $K$ :

$$K = \frac{\sum n \cdot Fq}{F},$$

где  $n$  – число дислокаций;

$Fq$  – размеры дислокаций;

$F$  – площадь обработки.

Экспериментами установлено, что суммарный съем, полученный вследствие аналитических расчетов и съем, полученный в результате опыта, не совпадают. Этот факт получил в литературе название «Нарушение адекватности съема». На наш взгляд ошибка возникает не в результате неточности расчетов, возникающих из-за сложности и громоздкости вычислений, а из-за того, что общий съем обрабатываемого материала при АЭХО нельзя вычислить просто как арифметическую сумму всех слагаемых, поскольку все процессы взаимосвязаны. Известно, что время необходимое для снятия стружки можно вычислить:

$$\tau_m = \frac{L}{1000V_{kp}},$$

где  $\tau_m$  – время шлифования сек;

$L$  – длина дуги контакта;

$V_{kp}$  – скорость вращения круга.

Длина дуги контакта равна [2]:

$$L = Ra \sqrt{1 + \frac{Snp^2}{(60V_{kp})^2}},$$

тогда:

$$\tau_m = \frac{Ra \sqrt{1 + \frac{Snp^2}{(60V_{kp})^2}}}{1000 \cdot V_{kp}} \text{ сек}.$$

Съем обрабатываемого материала за счет электроэрозии можно определить, как произведение среднего объема эрозионных лунок на число выступов связки в круге.

$$Q_{\text{эп}} = V_n n_{\text{ов}},$$

Практика показала, что увеличение напряжения свыше 8 вольт, приводит к ухудшению качества поверхности и к увеличению износа круга. Поскольку мощность эрозионной дуги расходуется в основном на износ круга, имеющего более легкоплавные компоненты, чем обрабатываемый материал при  $U < 8B$ , величиной эрозионного съема можно пренебречь. Съем твердого сплава за счет механо-химического эффекта можно рассчитать, как величину анодного растворения за счет дополнительного тока, возникающего вследствие пластических деформаций. Так, плотность тока, являющейся следствием пластических деформаций, определить [3]:

$$\Delta i = i_A \frac{S_2}{S_1} \left( \exp \frac{n \cdot \Delta \bar{\varphi}_O}{b} - 1 \right),$$

где  $\frac{i_A}{S_1}$  - истинная плотность тока

$$b = \frac{RT}{ZF};$$

$Z$  – заряд иона;

$F$  – число Фарадея

$n$  – размеры дислокационных скоплений;

$\Delta \varphi_O$  – прекращение потенциала.

Стружка снимается отдельным зерном за  $10^{-4} \div 10^{-5}$  сек, т.е. практически мгновенно. Время переходного процесса, вызывающего увеличение тока, при обработке твердых сплавов не больше 1 сек. Следовательно, для анодного съема обрабатываемого материала,  $\tau \frac{T}{3C}$ . Очевидно, что при алмазно-электрохимической обработке электрохимического съема (в общепринятом смысле) не происходит, а наблюдается только разрыхление поверхности на различную глубину, в основном по границам карбидных зерен. Глубина растравленного слоя зависит от природы обрабатываемого материала, плотности тока и состав и температуры электролита и для твердых сплавов колеблется от 3,8 до 7 мкм [5].

Представив зерно, как параболоид вращения можно вычислить площадь среза для единичного зерна. Площадь среза, определяется, как площадь параболического сегмента с основанием  $a$  и высотой  $h$ .

В этом случае

$$F = \frac{2}{3} ah \text{ мм}^3.$$

В нашем случае  $a$  – ширина срезаемого слоя, а  $h$  – глубина внедрения алмазного зерна в обрабатываемый материал.

В работе [6] показано, что ширина срезаемого слоя для шлифования торцом круга равна

$$a = \frac{S_{nn} \cdot l_{cp}}{60V_{kp} \cdot \sqrt{1 \pm \frac{S_{nn}^2}{(60V_{kp})^2}}}.$$

Глубину внедрения алмазного зерна можно определить [4]:

$$h' = \sqrt{\frac{P}{\pi \delta \cdot \operatorname{tg}(\operatorname{tg} \alpha + \varphi)^{0.5}}},$$

где  $h$  – глубина внедрения;

$\delta$  – величина контактного напряжения;

$\alpha$  – половина угла заострения конуса.

Для случая алмазно-электрохимического шлифования

$$h_{\text{э}} = h' + \Delta h;$$

$$\Delta h = \frac{C}{h_3} \tau_{\text{эx}},$$

где  $h_3$  – средняя высота выступания алмазных зерен под связкой;

$\tau_{\text{эx}}$  – время электрохимического растворения;

$C$  – постоянная, значение которой зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала.

Объем материала, снимаемый единичным зерном

$$V = \frac{2}{3} a h_{\text{э}} L_{\text{мм}},$$

где  $L$  – длина дуги контакта.

Съем твердого сплава при алмазно-электрохимическом шлифовании можно рассчитать по формуле:

$$Q = V \cdot n_{\text{ф}} \cdot n \cdot \tau,$$

где  $n_{\text{ф}} = n_{\text{б}} h_{\text{д}}$ ;

$n_{\text{б}}$  – число алмазных зерен на приведенной ширине шлифования.

При врезном шлифовании торцом круга

$$n_{\text{б}} = \frac{D - \alpha}{2l_3},$$

где  $l_3$  – средневероятное расстояние между алмазными зернами;

$h_{\text{д}}$  – число зерен на дуге окружности, описанный радиусом;

$$h = \frac{2\pi \cdot R_{\text{cp}}}{L}, \quad R_{\text{cp}} = \frac{R + r}{2};$$

$h$  – число оборотов круга в мин;

$\tau$  – время шлифования в мин.

$$Q = \frac{2}{3} ah \cdot \frac{(D - d)}{2l_{33}} \cdot \frac{2\pi \cdot R_{cp}}{l_3} \pi \tau = \frac{4ah \pi \cdot R_{cp} \cdot n(D - d) \tau \cdot k}{6l_3^2} \text{ ммЗ},$$

где  $k$  – коэффициент, учитывает влияние перекрытия алмазных зерен.

Преимуществом данной методики аналитического расчета производительности алмазно-электрохимического шлифования является то, что данная формула учитывает состояние режущей поверхности алмазного круга, фактическую площадь контакта, условия контактного взаимодействия и взаимовлияние составляющих процесса. Сравнение практических результатов и теоретических расчетов показали их достаточно хорошее совпадение (погрешность не превышает 5% ).

### Выводы:

Впервые предложена методика, позволяющая аналитическим путем определить производительность алмазно-электрохимического шлифования с учетом состояния режущего рельефа, влияния электрохимического и хемомеханического эффектов и режимов обработки;

Результаты аналитических расчетов можно использовать для формирования регламентированного режущего микрорельефа и прогнозирования режущей способности алмазных кругов.

Методика расчета может быть использована для изучения механизма съема и управления совмещенного с правкой процесса алмазно-электрохимического шлифования

### Список литературы

1. Семко М.Ф., Грабченко А.И., Левченко Н.В., Раб А.Ф. Электроалмазное шлифование инструментальных материалов. Вища школа, 1974.– 120 с.
2. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. М.: Машиностроение, 1974.- 320с.
3. Гутман Э.М. Механохимия металлов и защита от коррозии. М.: Металлургия. 1974. – 232с.
4. Сагарда А.А. Исследование процесса внедрения алмазного зерна в обрабатываемую поверхность/Станки и инструменты, № 10. 1969. – С. 3-7.
5. Гостев В.В. Алмазно-электрохимическое шлифование твердых сплавов. Харьков, «Вища школа», Изд-во Харьковского ун-та, 1974. - 120 с.
6. Захаренко И.П., Мовлазаде В.З., Толщина слоя, снимаемая одним зерном, при плоском шлифовании торцом алмазного круга.// За технический прогресс, 1972, № 4. С. 34-36.

В статті приведена методика аналітичного розрахунку продуктивності алмазно – електрохімічного шліфування виходячи із стану ріжучої поверхні круга, фактичного з'єму складових процесу, умов контактної взаємодії і режимів шліфування

In this article the methods of analytical estimation of processing efficiency by realization of electro - chemical grinding based upon the condition of cutting - face of a circle; the factual set of constituents; the conditions of contact interaction and grinding modes (of operation), as well as diamond electro - chemical grinding analytical estimation and processing efficiency are given.